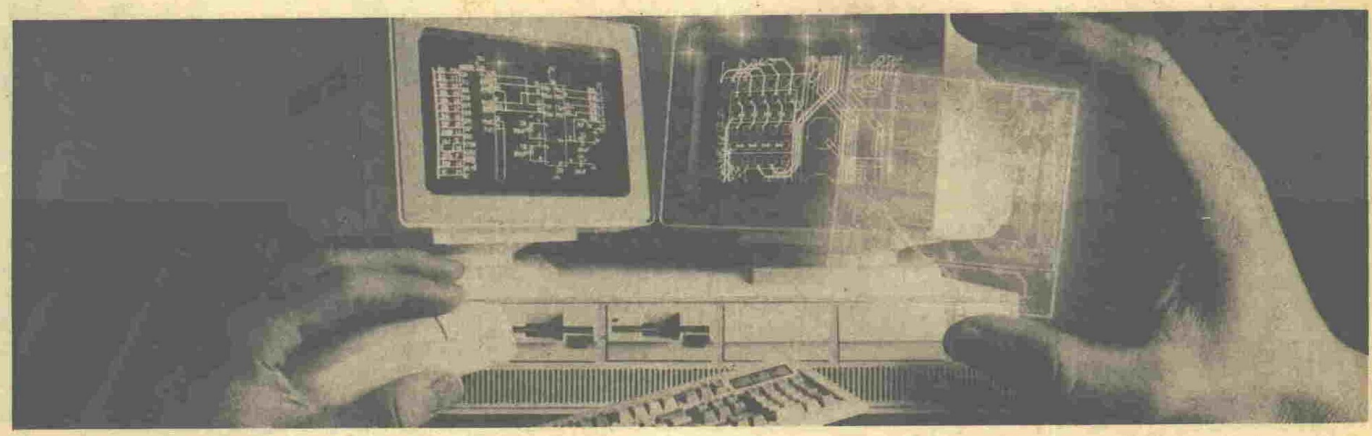
OEIC
เมื่อแสงประสานพลังกับอิเล็กทรอนิกส์

ภุชงค์ อุทโยภาศ

ถ้าผู้อ่านทุกท่านคอยติดตามข่าวการประกาศตัวของคอมพิวเตอร์และชิพไมโครโปรเซสเซอร์ใหม่ ๆ จะพบว่าความเร็วของอุปกรณ์เหล่านั้นซึ่งผู้ผลิตมักจะเอ่ยอ้างในเรื่องค่าสัญญาณนาฬิกาเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล เมื่อตอนที่ผู้เขียนเพิ่งรู้จักคอมพิวเตอร์ใหม่ ๆ ก็เริ่มใช้เครื่องแอปเปิ้ลทู ที่มีซีพียูเบอร์ 6502 ทำงานที่ 1.023 เมกะเฮิรตซ์ พอไอบีเอ็มพีซีรุ่นแรกออกมา ใช้สัญญาณนาฬิกา 4.77 เมกะเฮิรตซ์ เร็วขึ้นกว่าเดิมตั้ง 4 เท่า หลังจากนั้นเพียงปีเศษ ๆ เครื่องเหล่านี้ก็มีอันต้องพ่ายแพ้พวกพีซี/เอกซ์ทีเทอร์โบติดจรวดที่สามารถทำงานได้เร็วถึง 10 เมกะเฮิรตซ์ ต่อมาไม่นานเท่าไรก็มีพีซี/เอทีที่เริ่มต้นจาก 6 เมกะเฮิรตซ์ จนกลายเป็น 8 และ 12 เมกะเฮิรตซ์ตามลำดับ พอถึงยุคพีซี 386 ก็เร่งความเร็วในการทำงานของเครื่องเป็น 16-20 เมกะเฮิรตซ์ กระทั่งปัจจุบันเกือบทุกบริษัทที่ผลิตพีซีต้องหันมาใช้ชิพ 386 ออกขายกันแทบทั้งนั้น เพราะตัวชิพนั้นสามารถทำงานได้รวดเร็วถึง 25 เมกะ-เฮิรตซ์ แต่ตอนนี้เริ่มมีเครื่อง 33 เมกะ-เฮิรตซ์ กำลังออกอาละวาดเป็นการใหญ่ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าจากสมัยแรก ๆ ที่ผู้เขียนใช้เครื่องแอปเปิ้ล จวบจนปัจจุบันนี้ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ได้เปลี่ยนแปลงการใช้สัญญาณนาฬิกาเร็วขึ้นกว่าเดิมถึง 30 เท่า! ภายในระยะเวลาเพียง 6-7 ปีเท่านั้นเอง

มีผู้ทำนายไว้ว่าในเวลาอีกไม่นานคอมพิวเตอร์จะใช้สัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ย่าน 100 เมกะเฮิรตซ์ขึ้นไป เมื่อถึงตอนนั้นขีดจำกัดของระบบจะ



ไม่ได้อยู่ที่สารกึ่งตัวนำอีกแล้ว แต่จะขึ้นกับการเชื่อมต่อวงจรด้วยสายลวดทองแดงและแผ่นวงจรพิมพ์แทน

เร็วกว่า ซับซ้อนกว่า แล้วก็ก่อปัญหากว่า

เทคโนโลยีของการทำแผ่นวงจรพิมพ์ในปัจจุบันสามารถใช้กับระบบที่ทำงานด้วยความเร็ว 30-40 เมกะเฮิรตซ์ได้อย่างสบาย แต่ถ้าเร็วขึ้นไปกว่านั้น เช่นสัก 100 เมกะเฮิรตซ์ จะเกิดอะไรขึ้น?

ถึงแม้จะเป็นวงจรดิจิตอล เราต้องไม่ลืมว่าบรรดาแผ่นวงจรพิมพ์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ยังคงเป็นวงจรไฟฟ้าอยู่ดี เพียงแต่ที่ความถี่ต่ำ เราสามารถละเลยคุณสมบัติทางไฟฟ้าบางประการได้ วงจรความถี่ต่ำจะไม่ได้รับผลกระทบมากนักจากค่าความเก็บประจุในวงจรและการไม่เข้ากันของค่าอิมพีแดนซ์ (unmatched impedance) ที่ความถี่สูงแค่เดินลายวงจรพิมพ์ให้ขนานกันใกล้ ๆ ก็กลายเป็นตัวเก็บประจุแล้ว เพื่อให้วงจรประหยัดพลังงานและทำงานได้ดีตามต้องการ เราต้องมองการเดินลายวงจรพิมพ์เหมือนกับการลากสายส่งสัญญาณ (transmission line) ต้องพยายามแมตช์ค่าอิมพีแดนซ์ในวงจร และกำจัดการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หลังจากนั้นสักพักหนึ่งเราคงจะเริ่มสงสัยตัวเองว่ากำลังออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ให้คอมพิวเตอร์ หรือออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับเครื่องรับวิทยุเอฟ.เอ็ม. กันแน่! (วิทยุเอฟ.เอ็ม. ใช้ความถี่ 88-108 เมกะเฮิรตซ์)

นอกจากนั้นถ้าลองดูชิพโปรเซสเซอร์บางตัวในปัจจุบันจะมีบางชนิดซึ่งมีขาถึง 300 ขาเข้าไปแล้ว นักออกแบบวงจรบางคนถึงกับทำนายว่า ถ้าวงจรยังคงเพิ่มความซับซ้อนขึ้นไปเรื่อย ๆ เช่นนี้แล้ว ในต้นทศวรรษที่ 1990 จะมีไอซีที่มีขานับพันขา เนื่องจากวงจรที่มีความซับซ้อนยุ่งยากเท่าไร ย่อมต้องการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกมากขึ้นเป็นเงาตามตัว

ปัญหาเหล่านี้เราจะหาทางออกได้อย่างไร? เมื่อพิจารณาถึงเทคโนโลยีเพื่อการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงที่ใช้กันในปัจจุบันแล้วจะพบว่า การใช้แสงเป็นตัวนำข่าวสารเริ่มมีบทบาทมากขึ้นเรื่อย ๆ เพราะแสงปลอดจากสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าทั้งปวง รวมทั้งมีช่องความถี่หรือแบนด์วิดท์ให้ใช้งานมากมายมหาศาล ถ้าเรานำเอาเทคโนโลยีนี้มาผสมผสานกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก็น่าจะแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ ความคิดนี้เองคือจุดกำเนิดของ OEIC (Optoelectronic Integrated Circuit)

OEIC อัศวินม้าขาว

OEIC คืออะไรกันแน่ ว่ากันง่าย ๆ แล้ว เทคโนโลยีของ OEIC หมายถึง

- การสร้างวงจรประมวล (Integrated Circuit) ซึ่งนำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางด้านแสง (Optoelectronic devices) เช่น โฟโตไดโอดหรือเลเซอร์ไดโอดมาใช้แทนขาของไอซี และจัดสร้างวงจรที่เกี่ยวข้องกับการรับส่งข้อมูลทั้งหมดไว้ในชิพเดียวกัน

- การส่งผ่านสัญญาณทำได้โดยการใช้เส้นใยแสง (Fiber Optic) หรือการใช้ลำแสงยิงไปโดยตรง รวมทั้งการส่งผ่านด้วยตัวนำแสงที่สร้างขึ้นและประกอบติดมาพร้อมกับแผ่นวงจรของระบบ

- การประกอบตัวไอซีที่สนับสนุนการทำงานทั้ง 2 อย่างข้างต้น แต่ราคาถูกพอที่จะทำเป็นอุตสาหกรรมได้โดยไม่ต้องใช้ขาไอซีนับร้อยอย่างแต่ก่อน หน้าตาของ OEIC ชิพจะเป็นอย่างไรนั้น ลองพิจารณาส่วนประกอบในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงถึงแนวความคิดของ OEIC ว่าควรจะมีลักษณะเช่นใด

ส่วนประกอบหลัก ๆ ของ OEIC ชิพมีด้วยกัน 3 ส่วนคือ วงจรประมวลผล (Data processor) ส่วนประมวลสัญญาณ

(Signal processor) และส่วนรับส่งข้อมูล (Transmitter and Receiver)

วงจรประมวลผลก็คือวงจรดิจิตอลซีมอสที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปเช่น วงจรของโปรเซสเซอร์และหน่วยความจำนั่นเอง แต่การเชื่อมต่อกับภายนอกจะถูกตัดทิ้งไป สายสัญญาณทั้งหมดต้องนำไปเชื่อมกับส่วนที่สองซึ่งเป็นส่วนประมวลสัญญาณแทน

ภายในส่วนประมวลสัญญาณจะมีวงจรทำหน้าที่รับข้อมูลแบบขนานจากวงจรประมวลผล แล้วเปลี่ยนมาเป็นข้อมูลอนุกรมส่งให้กับวงจรที่ขับตัวรับส่งข้อมูลอีกต่อหนึ่ง ในการส่งข้อมูลไปยังชิพตัวอื่นนั้นมีทางเป็นไปได้ 2 วิธี คือ การยิงลำแสงออกไปตรง ๆ หรือการใช้เส้นใยแสงเป็นตัวนำข้อมูลแสง การยิงลำแสงโดยตรงจะยากกว่าการใช้เส้นใยแสง แต่จะเพิ่มประสิทธิภาพอย่างมหาศาลในระบบที่ทำงานแบบขนาน (Massively parallel processing)

ส่วนประมวลสัญญาณและส่วนรับส่งข้อมูลด้วยการใช้แสงมักเรียกรวมกันว่า ชิพย่อยของแสง (Optical subchip) โดยปกติจะใช้สารกึ่งตัวนำแบบแกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ (GaAs) ซึ่งแตกต่างจากส่วนประมวลผลที่ใช้เทคโนโลยีของสารกึ่งตัวนำที่เป็นซิลิกอน สารแกลเลี่ยมอาร์เซไนด์นี้มีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถปลูกผลึกลงบนแผ่นรองหรือซับสเตรต (substrate) ที่ทำจากซิลิกอนได้

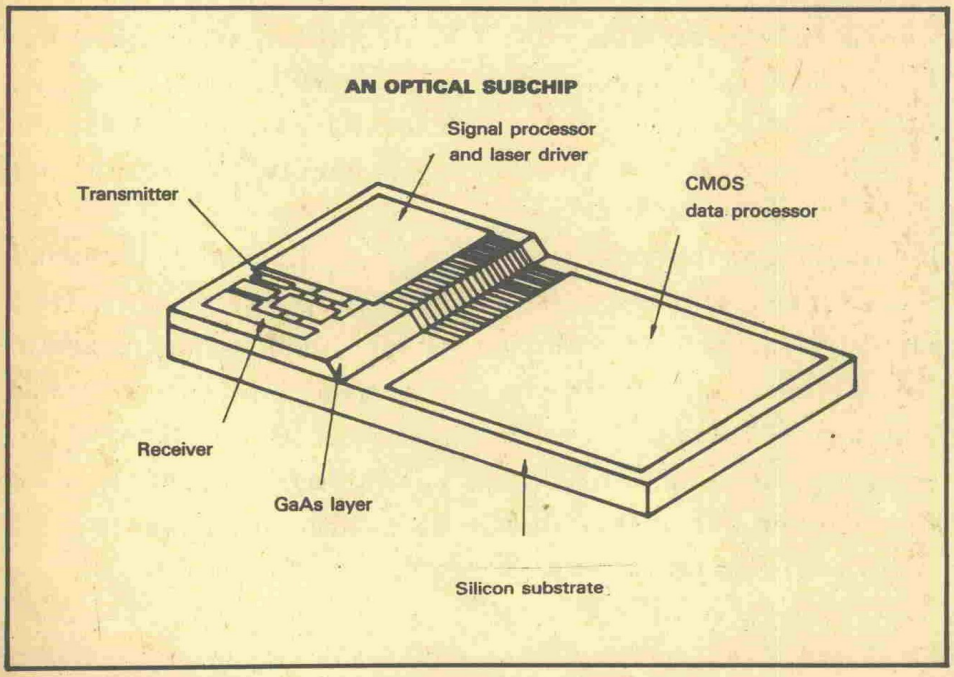
แสงส่งข้อมูลจริงหรือไม่? ทำได้อย่างไร?

ในการส่งข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าด้วยการใช้เทคโนโลยีของแสงจะประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ ๆ ทั้งหมด 3 ขั้นตอน คือ เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ส่งลำแสงไปยังปลายทาง จากนั้นจึงแปลงสัญญาณแสงกลับเป็นไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง สารกึ่งตัวนำหลายชนิดสามารถนำมาทำแหล่งกำเนิดแสงได้ดี เช่น อะลูมิเนียมแกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ (AlGaAs) จะให้แสงที่มีความยาวคลื่น 0.8 ถึง 0.9 ไมโครเมตร ขณะที่อินเดียมแกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ (InGaAs) ให้แสงที่มีค่าความยาวคลื่นในช่วง 1.1 ถึง 1.6

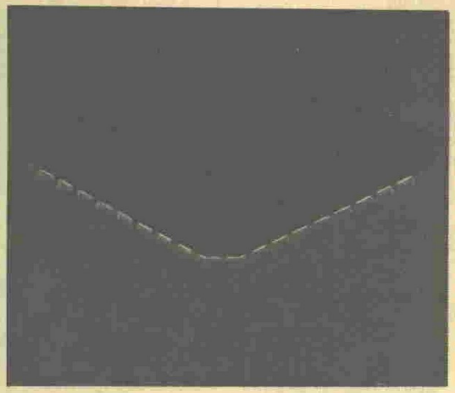
ไมโครเมตร อุปกรณ์กำเนิดแสงแบบง่ายที่สุดคือ LED (Light Emitting Diode) ทำได้โดยการทำให้ไบแอสตรงกับรอยต่อสารกึ่งตัวนำที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ แต่ LED นั้นทำงานได้ช้าและมีประสิทธิภาพต่ำกว่าอุปกรณ์ชนิดอื่น

แหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมที่สุดคือเลเซอร์ไดโอด ซึ่งเกิดจากการออกแบบรอยต่อสารกึ่งตัวนำให้มีโพรงเล็ก ๆ อยู่ภายใน แล้วอาศัยการป้อนกลับโดยใช้แสงมาเป็นตัวกระตุ้นให้รอยต่อปล่อยแสงเลเซอร์ออกมา เลเซอร์ไดโอดนี้มีประสิทธิภาพสูงมาก (ประมาณ 60%) และยังทำงานได้อย่างรวดเร็ว (มีแบนด์วิดท์ประมาณ 10 จิกะเฮิรตซ์ เมื่อผสมสัญญาณแสงโดยใช้เทคนิคการแปรความเข้มแสงตามสัญญาณกระแส) นอกจากนั้นเลเซอร์ไดโอดยังกินกำลังไฟไม่มาก คือใช้กระแสน้อยกว่า 10 มิลลิแอมป์ และใช้พลังงานต่ำกว่า 20 มิลลิวัตต์

ทางภาครับสัญญาณแสงจะใช้โฟโตไดโอด ซึ่งอาศัยหลักการไบแอสย้อนกลับรอยต่อสารกึ่งตัวนำ เมื่อมีแสงตกกระทบจะคายพลังงานให้อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่แล้วเกิดเป็นกระแสซึ่งมีค่าแปรผันตามความเข้มของแสงตกกระทบ ในการส่งรับสัญญาณแสงจึงสามารถทำได้โดยเทคนิคง่าย ๆ เหมือนการปิดเปิดสวิตช์ไฟฉาย คือมีแสงคิดเป็น 1 ไม่มีแสงเป็น 0



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของ OEIC ชิพ



สร้างชิพ OEIC ไม่ใช่ของกล้วย ๆ

ปัจจุบันเริ่มมีการทดลองสร้างชิพ OEIC ขึ้นมาบ้างแล้วตามห้องปฏิบัติการวิจัยสารกึ่งตัวนำ ดังเช่นในรูปที่ 2 เป็นตัวอย่างโครงสร้าง OEIC ชิพที่มีผู้ทดลองสร้างขึ้นมา แต่ภายในชิพนี้จะสังเกตได้ว่า มีเพียงส่วนของชิพย่อยแสงเท่านั้น ยังไม่ได้รวมวงจรประมวลผลเข้าไปด้วย ในการจัดสร้างชิพของ OEIC ขึ้นมาใช้งานอย่างจริงจังนั้นจะต้องพิจารณาประเด็นหลัก 3 ประการด้วยกัน

ประการแรกอุปกรณ์ที่มีการทำงานแตกต่างกันต้องใช้สารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน ยกตัวอย่างเช่น เลเซอร์ไดโอดและโฟโตไดโอดไม่สามารถสร้างขึ้นโดยใช้ซิลิกอนได้เลย ในขณะที่แกลเลี่ยมอาร์เซไนด์นั้นเหมาะสมมากในการสร้างตัวรับส่งแสงที่ความยาวคลื่น 0.8 ไมโครเมตร และทำงานได้เร็วมาก แต่ในปัจจุบันยังไม่มีทางใช้งานแข่งกับซิลิกอนได้ในเรื่องของการสร้างหน่วยความจำขนาดใหญ่และวงจรที่มีความซับซ้อนมาก ๆ

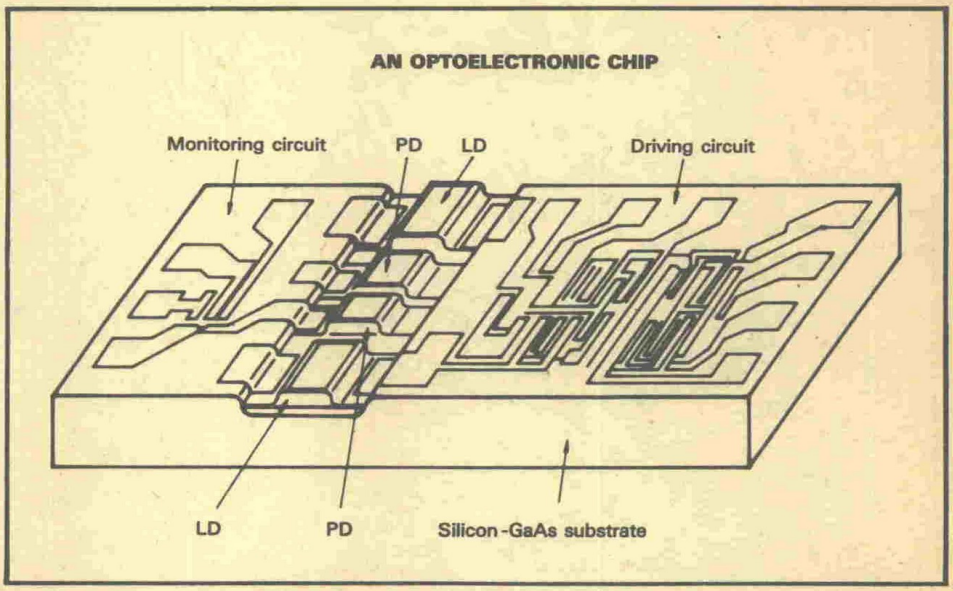
อินเดียมแกลเลี่ยมอาร์เซไนด์สามารถใช้ทำเป็นตัวรับส่งแสงที่มีความยาวคลื่น 1.1 - 1.6 ไมโครเมตรได้ และมีแนวโน้มที่ดีกว่าแกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ในการนำมาทำวงจรอิเล็กทรอนิกส์ความเร็วสูง แต่เทคโนโลยีทางด้านนี้ยังอยู่ในขั้นเริ่มต้นเท่านั้น

ประการที่สองเป็นผลต่อเนื่องจากประการแรกคือ อุปกรณ์ที่มีความแตกต่างกันมักต้องการกรรมวิธีในการปลูกผลึกสารที่แตกต่างกัน ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนคือ ในการสร้างเลเซอร์ไดโอดนั้นจะใช้เทคนิคที่เรียกกันว่า Hetero-junction คือการสร้างชั้นของผลึกที่มีความแตกต่างกันทางองค์ประกอบ โดยชนิดหนึ่งจะปลูกทับอยู่ด้านบนของอีกชนิดหนึ่ง และมีข้อกำหนดบางประการเกี่ยวกับคุณสมบัติของรอยต่อระหว่างสารสองชนิดนั้น แต่การสร้างผลึกของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปจะใช้สารที่มีองค์ประกอบอย่างเดียว โดยปรับคุณสมบัติของมันด้วยการเจือสาร (doping) การสร้างชิพที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ชนิดรวมกันจะต้องผลัดกันใช้กรรมวิธีที่แตกต่างกันในแต่ละชั้นของอุปกรณ์

ประการสุดท้าย การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่เป็นสื่อนำแสง เช่น เส้นใยแสงกับตัวรับส่งข้อมูลต้องการความแม่นยำทางกลศาสตร์ที่สูงมาก และเป็นปัญหาที่จำกัดรูปทรงของชิพ ตัวปัญหาเกิดจากการที่เลเซอร์ไดโอดจะเปล่งแสงออกทางขอบของรอยต่อซึ่งมีขนาดเล็กมากประมาณ 2 ไมโครเมตร ในขณะที่เส้นใยแสงมีเส้นผ่าศูนย์กลางถึงประมาณ 120 ไมโครเมตร นอกจากนั้นการออกแบบชิพยังต้องจัดวางเลเซอร์ไดโอดไว้ที่ขอบชิพเสมอ ทำให้การจัดวางวงจรแต่ละส่วนทวีความยุ่งยากขึ้นไปอีก

ถึงแม้ว่าผู้วิจัยหลายรายจะเผชิญปัญหาสำคัญทั้ง 3 ประการ การวิจัยและพัฒนาเพื่อจะเอาชนะปัญหาเหล่านี้ก็ดำเนินมาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานแล้ว ทำให้แนวทางแก้ไขเริ่มชัดเจนและเป็นไปได้มากขึ้นเรื่อย ๆ ความสำเร็จครั้งแรกสุดเกิดขึ้นในปี 1987 เมื่อ Caltech ประกาศตัวชิพรับส่งข้อมูลพื้นฐานอันประกอบไปด้วยเลเซอร์ วงจรขยาย และตัวรับแสง ซึ่งทั้งหมดวางอยู่บนแผ่นรองซึ่งเป็นแกลเลี่ยมอาร์เซไนด์

ในการเพิ่มความซับซ้อนของวงจร บริษัทฮันนี่เวลล์และบริษัทอื่น ๆ ได้พยายามพัฒนากรรมวิธีใหม่ ๆ ซึ่งทำให้ได้ชิพที่มีความซับซ้อน (ประมาณ 500 เกต) และความเร็วสูงประมาณ 1 จิกะบิตต่อวินาที ขณะเดียวกันทางภาครับอย่างเดียวสามารถสร้างวงจรซึ่งซับซ้อนถึง 2000 เกตและมีความเร็ว



รูปที่ 2 โครงสร้างแบบหนึ่งของ OEIC ชิพ

กว่า 5 จิกะบิตต่อวินาที ความก้าวหน้าส่วนใหญ่มาจากค่ายญี่ปุ่น โดยเฉพาะบริษัทมัตสุชิตะที่สามารถสร้างชิพมาขายได้สำเร็จเป็นบริษัทแรกในปี 1988 แต่ทั้งหมดที่กล่าวมายังไม่สามารถใช้กรรมวิธีเดียวกันตลอดทั้งชิพได้ ในลักษณะนี้ทำให้การผลิตในราคาถูกยังคงเป็นไปไม่ได้

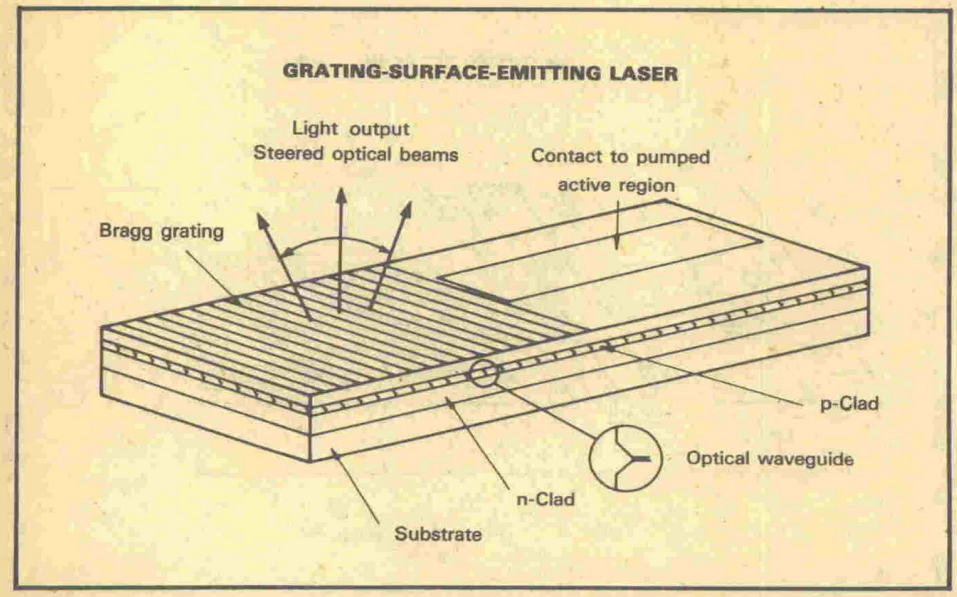
ขณะนี้บริษัทฟูจิตสึได้ค้นพบกรรมวิธีใหม่ทางด้านสารกึ่งตัวนำซึ่งจะใช้การปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของแถบพลังงานของสารให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ เทคโนโลยีนี้เองทำให้อุตสาหกรรมผลิต OEIC ในราคาพอสมควรมีทางเป็นจริงขึ้นมา

ปัญหาใหญ่อีกปัญหาหนึ่งที่ยังคงเหลืออยู่คือ การปลูกผลึกของแกลเลี่ยม-อาร์เซไนด์บนสารซิลิกอนซึ่งมีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกัน ทำให้มีปัญหาเรื่องคุณภาพของผลึกส่วนที่ใกล้กับรอยต่ออันจะมีผลต่อประสิทธิภาพและความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ ปัญหานี้กำลังได้รับความสนใจและหาวิธีแก้ไขอยู่

ในการจัดการกับการเชื่อมต่อตัวชิพกับเส้นใยแสงนั้น ได้มีการออกแบบเลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงออกมาตั้งฉากกับพื้นผิว เพื่อจะให้ผิวที่เปล่งแสงมีเนื้อที่มากขึ้น ตัวอย่างของเทคนิคใหม่นี้ได้แก่ GSE (Grating Surface Emitting) ซึ่งประกาศออกมาจากห้องทดลองเดวิด ซาร์นอฟ (David Sarnoff Research Center) GSE นี้มีโครงสร้างดังแสดงไว้ในรูปที่ 3

จากที่เคยกล่าวไปแล้วว่าเลเซอร์เกิดจากรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ ใน GSE ลำแสงจะถูกบังคับโดยท่อนำแสงเล็ก ๆ ให้พุ่งผ่านส่วนผิวซึ่งถูกทำให้มีลักษณะเป็นช่องแคบ ๆ เรียกว่าเกรตติ้ง (Grating) เกรตติ้งนี้จะบังคับให้แสงพุ่งเป็นลำออกไป และตั้งฉากกับพื้นผิว ในลักษณะนี้ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อกับเส้นใยแสง

ความสามารถที่สำคัญมากอีกอย่างหนึ่งของ GSE ก็คือ เราสามารถควบคุมลำแสงให้พุ่งไปยังทิศทางที่ต้องการได้ เนื่องจากทิศทางของแสงนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวคลื่นของแสงเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านเกรตติ้ง ดังนั้นถ้าเราเพิ่มวงจรที่ขับเลเซอร์ไดโอดให้แปรค่าความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมาเราจะสามารถควบคุมทิศทางของแสงได้



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างของ Grating Surface Emitting ในเลเซอร์ไดโอด

หรือจะถึงยุคแสงทองส่องอำไพ

เราจะได้อะไรบ้างเมื่อเทคโนโลยีของ OEIC ใช้งานได้ในราคาถูก นั่นคือ คอมพิวเตอร์ในยุคนั้นจะมีความเร็วมหาศาล เราจะได้คอมพิวเตอร์ที่มีสถาปัตยกรรมแบบใหม่ ๆ มีความสามารถเปลี่ยนแปลงสถาปัตยกรรมในการทำงานให้เหมาะสมกับการคำนวณได้ ลองนึกภาพคอมพิวเตอร์ที่สร้างบนผลึกใส การเชื่อมต่อแต่ละชิพเป็นไปโดยการฉายลำแสงไปถึงกันโดยตรง หากเราต้องการแก้ไขวงจร ก็เพียงแต่โปรแกรมทิศทางใหม่ให้กับชิพแต่ละตัว เราจะได้สถาปัตยกรรมใหม่ทันที ลักษณะเช่นนี้จะเพิ่มพลังให้กับคอมพิวเตอร์แบบที่มีการทำงานของโปรเซสเซอร์หลายตัวขนานกันไม่รู้กี่เท่าตัว เนื่องจากโปรเซสเซอร์แต่ละตัวสามารถส่งผ่านข้อมูลถึงกันได้โดยตรง และสามารถเข้าถึงหน่วยความจำได้พร้อมกันโดยไม่มีการรบกวนกันเอง

ผู้ใช้กลุ่มแรกของ OEIC ชิพน่าจะเป็นอุตสาหกรรมทางด้านการสื่อสารความเร็วสูงมากกว่าคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตามเทคโนโลยี OEIC เป็นสิ่งที่น่าจับตามอง และอาจจะพลิกโฉมหน้าใหม่ให้กับคอมพิวเตอร์ในอนาคตก็เป็นได้